

Fragile comme du béton

CONSTRUCTION Le béton armé et le béton précontraint, exposés aux intempéries, peuvent se dégrader en quelques décennies. Un problème longtemps sous-estimé, contre lequel existent des parades.

Un dossier réalisé par **PIERRE CORMON**

Le 14 août 2018 à 11h36, le Pont Morandi de Gênes s’écroule, causant la mort de quarante-trois personnes. Plusieurs de ses composants étaient dans un état de dégradation avancé. Dresde a eu plus de chance: l'effondrement de l'un des quatre ponts traversant l'Elbe, en 2024, n'a pas fait de victimes. Ces accidents illustrent un phénomène connu des ingénieurs. Nos sociétés ont hérité d'un stock considérable de constructions datant des décennies qui ont suivi la Seconde Guerre mondiale. Elles font un usage massif du béton armé ou du béton précontraint (lire en page 7). Or, dans certaines conditions, faute d'entretien, ces matériaux se dégradent en quelques décennies. Les ouvrages d'art, par exemple, sont actuellement conçus pour durer cent ans, avec un entretien régulier. «Pour ceux qui ont été construits dans les années 1960-1970, qui représentent une part importante de notre réseau, cette durée de vie n'est pas garantie», note Marina Kaempf, responsable de la communication de l'Office fédéral des routes.

Un matériel pour utopiques

C'est pourtant pour fournir un matériau à la fois solide et bon marché que le béton armé a été inventé, au milieu du XIXème siècle. Un réformateur social, François Coignet, est le premier à l'utiliser dans des bâtiments. Grâce à ce nouveau matériau, «on pourrait opérer à peu de frais la régénération des quartiers pauvres en y construisant des maisons qui, tout en conservant l'élégance de la forme, le confortable intérieur, tout en sauvegardant les intérêts du propriétaire, permettraient de fournir aux ouvriers, pour un taux de loyer inférieur, des logements plus gais, plus sains, plus vastes que ceux que la bourgeoisie obtient à prix d'or dans la Rue de Rivoli!»

C'est pourtant pour fournir un matériau à la fois solide et bon marché que le béton armé a été inventé, au milieu du XIXème siècle. Un réformateur social, François Coignet, est le premier à l'utiliser dans des bâtiments.

Pendant un bon siècle, le béton armé est essentiellement utilisé pour réaliser des ossatures, sans bouleverser l'architecture. Il faut attendre l'Après-Guerre pour qu'il devienne le matériau de construction par excellence. C'est le symbole des Trente Glorieuses. Bon marché, il domine les autres matériaux dans les cités françaises ou les grands ensembles soviétiques. Malléable, il libère l'imagination des architectes qui construisent des bâtiments de formes jusqu'alors difficilement envisageables, comme ceux du Brésilien Oscar Niemeyer. Populaire, il suscite la création d'expressions telles que «bétonner un dossier» ou «un alibi en béton». Tendance, il suscite un nouveau style architectural, le brutalisme, qui le met en valeur. Des villes entières en sont faites, comme Chandigarh, Brasilia ou, plus près de nous, la Cité satellite de Meyrin.

Infrastructures

«C'est aussi lui qui a permis de doter un pays à la topographie difficile, comme la Suisse, de magni-

fiques infrastructures au service de la mobilité», souligne Denis Clément, professeur associé à la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA) et co-responsable du laboratoire d'essais des matériaux et des structures. Elles s'appuient notamment sur des innovations techniques dues à l'ingénieur Robert Maillart, installé à Genève.

Il véhicule alors une fausse image de solidité à toute épreuve. «Les mécanismes de dégradation et des effets de l'environnement étaient moins connus», remarque Marina Kaempf. La vulnérabilité du béton avait pourtant été identifiée dès 1899 par un professeur de l'Ecole polytechnique de Zurich, Karl Ritter. «Son article indique de manière très claire que le béton armé est un matériau poreux, qui absorbe l'eau et ne peut pas être durable», relève Eugen Brühwiler, professeur honoraire à l'EPFL.

Qualité moindre

Cette particularité, connue des experts, ne retient pas l'attention des praticiens de l'époque. Les bétons de moins bonne qualité qu'aujourd'hui, des connaissances moins poussées et des pratiques moins strictes ont engendré un parc d'ouvrages dont certains sont particulièrement vulnérables. «Une prise de conscience a finalement eu lieu dans les années 1980, lorsque l'on a constaté que des ouvrages encore jeunes se dégradaient», note Eugen Brühwiler. «Cette fragilité se manifeste d'autant plus lorsque le béton armé ou précontraint est exposé à des facteurs tels que des cycles de gel et dégel, de l'humidité ou des sels de déverglaçage», précise Vincent Bujard, associé au sein du Groupe – T, issu du bureau de Robert Maillart. Elle concerne particulièrement les façades, les ouvrages d'art et les parkings. Les ouvrages d'art, notamment, sont exposés aux intempéries, aux sels de déverglaçage et doivent supporter les véhicules, dont le passage rapide augmente les secousses qu'ils provoquent.

Nouvelles générations

Les normes ont depuis été renforcées, quoique pas assez de l'avis d'Eugen Brühwiler, qui a participé à leur rédaction. Les nouvelles générations d'ingénieurs sont formées à la manière de surveiller, diagnostiquer, entretenir et réparer le béton. Les nouveaux ouvrages sont aussi mieux conçus. On enrobe les armatures d'une couche de protection plus épaisse, on les dessine de manière à favoriser l'écoulement de l'eau, on adapte la qualité du béton à son exposition, etc. Des progrès ont également été effectués dans la formulation, la préparation et le coulage du béton.

Il n'existe cependant pas de garantie absolue. «Même si les normes sont bien faites, il peut arriver que des problèmes de mise en œuvre surviennent en cours de chantier, par exemple qu'une cage d'armature bouge au moment de couler le béton», remarque Vincent Bujard. Les façades ne sont pas non plus toujours conçues de manière que l'on puisse retirer facilement la couche extérieure, exposée aux intempéries. Cela rend certaines interventions plus contraignantes et leur résultat souvent inesthétique. Quant aux anciens ouvrages, ils doivent être inspectés régulièrement et faire l'objet de maintenance ou de remises en état. «Nous héritons d'une situation complexe à gérer», conclut Denis Clément. «C'est un beau défi qui attend la prochaine génération d'ingénieurs, et qui rend ce métier passionnant.» ■

^[1] La citation est tirée de Anselme Jappe, Béton, Arme de construction massive du capitalisme, Editions l'Echappée, 2020.


Le béton a permis de libérer l'imagination des architectes.

Ici: Igreja de São Francisco de Assis (Belo Horizonte), Oscar Niemeyer. Por Prandrade

- Obra do próprio, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=43824035

De la dégradation à la protection

Malgré son apparence massive, le béton est un matériau poreux. «Il s'agit véritablement d'un matériau composite, fait d'eau, de granulats, de sable et de ciment», précise Vincent Bujard. Lorsque le CO2 présent dans l'atmosphère pénètre dans les pores du béton, en présence d'humidité, il provoque une réaction chimique appelée carbonatation. «Ce n'est pas un problème en soi, elle rend en effet le béton plus étanche et plus solide», remarque Vincent Bujard. Le problème survient si elle pénètre assez

profondément pour rencontrer les armatures d'acier. Dans ce cas, l'acier – qui n'est plus protégé par la matrice basique du béton – peut se corroder, gonfler et faire éclater le béton. «Si une armature de douze millimètres de diamètre est réduite à huit millimètres par la corrosion, elle perd plus de la moitié de sa résistance», note Vincent Bujard. Cela ne signifie pas la mort de l'ouvrage: les ingénieurs savent remplacer les armatures corrodées. Mieux vaut cependant éviter d'en arriver là, ce qui permet d'économiser beaucoup de

temps, d'argent et de nuisances.

Quelques conseils en ce sens:

- Inspectez régulièrement les parties d'ouvrages en béton armé ou précontraint exposées aux intempéries – au moins une fois par an;
- demandez une analyse approfondie à un spécialiste en cas de signes de dégradation;
- même sans signe apparent, commandez une inspection à un professionnel toutes les quelques années – par exemple tous les dix ans;
- en cas de problème, intervenez le plus rapidement

possible: cela revient moins cher, à terme;

- envisagez l'ajout d'une couche de protection hydrophobe, si votre ouvrage est exposé et qu'il n'en possède pas encore une. «Elle est invisible», note Malena Bastien Masse.

Des spécialistes sont recommandés par les associations professionnelles, comme la Fédération des associations d'architectes et d'ingénieurs de Genève ou les sections cantonales de la Société suisse des ingénieurs et architectes. ■

Un matériau ultrarésistant développé à l'EPFL

Les automobilistes qui passent par le viaduc de Chillon savent rarement qu'ils roulent sur l'un des premiers ouvrages d'art ayant fait recours à un matériau composite ultrarésistant. Il s'agit du CFUP, développé à l'EPFL (prononcer «cé-fup», pour composite cimentaire fibré ultra-performant). «Le matériau lui-même a été inventé par un chercheur en ciment danois, dans les années quatre-vingt», explique Eugen Brühwiler. «Nous l'avons adapté aux composants locaux et avons optimisé le mélange pour limiter ses émissions de CO2». Une vingtaine de thèses de doctorat lui ont été consacrées, et des méthodes de mise en œuvre ont été développées avec des entreprises.

Le CFUP (anciennement appelé BFUP) est aujourd'hui couramment utilisé pour la maintenance du réseau autoroutier suisse, ainsi que dans d'autres pays

à travers le monde. «Pour les ouvrages construits avant les années 80, une intervention importante est souvent nécessaire après 40 à 50 ans de service», explique Marina Kaempf (la fréquence exacte varie en fonction de facteurs tels que la fréquence des cycles de gel-dégel ou l'exposition aux sels de déverglaçage).

En renfort

Ce sont les parties supérieures, les plus exposées, qu'on recouvre d'une couche de protection en CFUP. «Le béton armé, à l'intérieur des structures, fonctionne bien du point de vue mécanique», explique Eugen Brühwiler. «Les surfaces extérieures en CFUP le protègent. C'est le même principe que l'on retrouve sur les arbres, avec l'écorce, ou sur les pales d'éoliennes, qui utilisent un matériau plus résistant à l'extérieur.» L'Office fédéral des routes, qui gère le réseau,

Béton, béton armé, précontraint, CFUP, etc.

- Le **béton** est un matériau composite fait d'eau, de granulats (le plus souvent du gravier ou du sable), d'un liant (le plus souvent du ciment), d'adjuvants et de produits tels que des cendres volantes ou de la fumée de silice. Il est connu depuis l'Antiquité: le Panthéon de Rome, bâti en 27 av. J.-C., est surmonté d'une coupole en béton, qui subsiste depuis plus de deux mille ans.

- Le **béton armé** est un matériau composé de béton coulé sur une armature de barres d'acier. Il permet de dépasser l'une des grandes limites du béton pur. Celui-ci résiste très bien à la compression – un poteau en béton supporte par exemple efficacement le poids des étages supérieurs. Il est beaucoup moins résistant à la traction – une poutre en béton pur ne pourra pas supporter qu'on y suspende une charge très lourde. Les armatures permettent de donner les deux propriétés au béton armé.

- Le **béton précontraint** est un matériau composé de béton contenant le plus souvent des câbles en acier tendu, ce qui permet d'augmenter sa résistance à la traction et de réduire la fissuration. La technique est utilisée notamment pour les ouvrages d'art, les enceintes de confinement de centrales nucléaires ou les plateformes pétrolières en mer.

- Le **CFUP** (composite cimentaire fibré ultra-performant) est un matériau développé au début des années 2000 à l'EPFL par Eugen Brühwiler et ses équipes. Il s'agit d'une adaptation d'un matériau inventé au Danemark dans les années 1980, sous l'acronyme UHPFRC (*ultra high performance fiber reinforced concrete*). Il est composé d'une matrice de ciment et de sable, ainsi que de fibres métalliques d'environ deux centimètres de longueur. Il est beaucoup plus résistant que le béton armé ou précontraint. ■

Rendre le béton plus durable

Le béton a un mauvais bilan environnemental. Sa fabrication engendre des émissions massives de CO2 – environ 8% des émissions mondiales sont attribuées aux cimenteries. Les granulats qu'il contient constituent une ressource naturelle non renouvelable. Leur extraction suscite de fréquentes oppositions du voisinage. Dans certains pays, elle cause de sérieux dégâts environnementaux.

Quelques pistes pour minimiser les impacts:

- «La priorité doit être de tout mettre en œuvre pour prolonger au maximum la durée de vie des ouvrages existants», souligne Malena Bastien Masse. «Cela permet de limiter l'impact carbone lié à la construction.» Le CFUP, par sa solidité, peut y contribuer.

- Utiliser des ciments bas carbone, maintenant proposés par plusieurs fabricants de béton. Ils permettent de réduire les émissions de 20% à 40%, selon les cas, par rapport à un ciment normal;

- utiliser des granulats recyclés, lorsque les exigences liées au matériau le permettent;

- minimiser la quantité de béton employée dans un ouvrage, en calculant au mieux les quantités nécessaires au regard de la fonction et des normes. Il faut, en utiliser aussi peu que possible, et autant que nécessaire;

- penser à l'évolution du bâti. «Les parties les plus exposées des ouvrages d'art sont aujourd'hui conçues pour être plus facilement démontées et remplacées», remarque Denis Clément.

- «En revanche, les réseaux techniques des bâtiments sont fréquemment noyés dans les dalles en béton, alors qu'ils atteindraient leur obsolescence approximativement au tiers de la durée de vie de la structure. Leur remplacement, rarement anticipé, nécessitera des travaux lourds et impliquera de casser le béton.» C'est non seulement mauvais du point de vue environnemental, mais à terme, bien plus cher. ■